

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektroniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Jednotka pro detekci bouřek a blesků
The Lightning and Storm Detection Device

2014/2015

Josef Jarolím

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Josef Jarolím**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2612R041 Řídicí a informační systémy
Téma: **Jednotka pro detekci bouřek a blesků**
The Lightning and Storm Detection Device

Zásady pro vypracování:

1. Možnosti detekce bouřek a blesků.
2. Návrh HW prototypu jednotky pro detekci bouřek a blesků.
3. Vytvoření ovládacího firmwaru pro vytvořený prototyp.
4. Testování dosažených výsledků.
5. Zhodnocení dosažených výsledků práce a závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] AS3935 FRANKLIN LIGHTNING SENSOR. *AS3935 Franklin Lightning Sensor* [online]. c2014 [cit. 2014-09-08]. Dostupné z: <http://www.digikey.com/product-highlights/us/en/ams-as3935-franklin-lightning-sensor/1966>.
[2] VAN SICKLE, Ted. *Programming microcontrollers in C*. 2nd ed. Eagle Rock, Calif.: LLH Technology Pub., c2001, 454 s. ISBN 1-878707-57-4.
[3] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *Freescale semiconductor* [online]. c2012 [cit. 2012-02-29]. Dostupné z: <http://www.freescale.com>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaromír Konečný, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015

doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Ostrava datum odevzdání

7. 5. 2015

podpis 

Abstrakt (CZ)

Blesky jsou nebezpečný přírodní jev, který je schopen způsobit požár a jeho vyzařování ničí elektroniku, která není na tak silné výboje stavěna. V případě, kdy blesk uhodí do stavby, zvedne se její elektrický potenciál. Při následném uvedení na původní potenciál proudí vodivými cestami stavby velké vyrovnávací proudy.

Tato práce se zabývá vytvořením a oživením nízkopříkonového detektoru blesku. Tento detektor je postaven na Freedomboardu od společnosti Freescale, který k detekci blesků využívá integrovaný obvod AS3935 od společnosti AMS.

Klíčová slova: AS3935, detektor blesku, SPI, Freedomboard

Abstract (EN)

Lightning strikes are dangerous natural phenomenon. They are capable of causing fires and their radiation destroys the electronics that can't withstand so large electrical currents. In case lightning strikes a building. The building's electrical potential rises. Then large electrical currents flow through conductive paths to return building's potential back to initial state.

This thesis deals with creation and commissioning of lightning detector. This detector is based on Freedomboard made by Freescale, that is using integrated circuit AS3935 made by AMS to detect lightning strikes.

Keywords: AS3935, lightning detector, SPI, Freedomboard

Seznam použitých zkratek:

AMS	AUSTRIAMICROSYSTEMS, výrobce senzoru AS3935, jeho předváděcí desky a emulátoru blesku
FRDM	Freescale Freedomboard, vývojová deska
GND	Ground, uzemnění, v této práci použito pro označení potenciálu 0 V
I ² C	Inter-Integrated Circuit, čteme I-nadruhou-C, označení dvouvodičového sériového rozhraní
LSB	Least Significant Bit, bit s nejmenší vahou
MCU	Microcontroller, jedná se o jednočipový mikropočítač
MISO	Master In Slave Out, pin SPI sběrnice vstup pro člen řídící (FRDM) a výstup pro člen řízený (čip AS3935)
MOSI	Master Out Slave In, pin SPI sběrnice výstup pro člen řídící (FRDM) a vstup pro člen řízený (čip AS3935)
MSB	Most Significant Bit, bit s největší vahou
OTD	The Optical Transient Detector, Optický přechodný detektor
PCS0	Pin Chip Select, výběr zařízení pro komunikaci přes SPI sběrnici FRDM
REG	Registr, jedná se o část paměti, kde se nachází specifická informace
SCK	Označení pro piny SPI sběrnice FRDM, na nichž je možné mít hodinové pulsy
SMD	Surface Mount Device, jedná se o typ součástek, jež se pájí na povrch plošných spojů, jejich velikost se pohybuje v řádech desetin milimetru až milimetrů
SPI	Serial Peripheral Interface, jedná se o čtyřvodičové sériové rozhraní
USB	Universal Serial Bus, univerzální sériová sběrnice používaná k připojení periférií k počítači
VHF	Very High Frequency, českým ekvivalentem je VKV, jedná se o frekvence mezi 30 MHz až 300 MHz
VKV	Velmi Krátké Vlny, jedná se o rádiové vlny o délce 1 m až 10 m, což odpovídá frekvencím 30 MHz až 300 MHz

Obsah

1	Úvod	1
2	Možnosti detekce bouřek a blesků.....	2
2.1	<i>Vznik bouřky a její průvodní jevy.....</i>	2
2.2	<i>Druhy blesků.....</i>	3
2.3	<i>Způsoby detekce blesku.....</i>	3
2.3.1	Technika hledání směru magnetismu.....	3
2.3.2	Technika čas příchodu	4
2.3.3	VKV Interferometrie.....	4
2.3.4	Optický přechodný detektor.....	4
2.4	<i>AS3935 – Franklin Lightning Sensor.....</i>	5
2.4.1	Pracovní režimy integrovaného obvodu AS3935	5
2.5	<i>Freescale Freedom vývojové desky.....</i>	6
2.6	<i>Emulátor blesku</i>	6
2.7	<i>Ovládání čipu AS3935</i>	7
2.7.1	Vstupní zesilovač a Watchdog.....	9
2.7.2	Vyhodnocení šumu a generace hladiny šumu.....	9
2.7.3	Nastavení antény	10
3	Návrh HW prototypu jednotky pro detekci bouřek a blesků	11
3.1	<i>Editor plošných spojů EAGLE.....</i>	11
3.2	<i>Základní představa fungování zařízení.....</i>	11
4	Ovládací firmware pro prototyp	16
4.1	<i>Freescale Codewarrior.....</i>	16
4.2	<i>Program pro FRDM</i>	18
4.3	<i>Knihovna pro program pro FRDM.....</i>	20
4.4	<i>Visual Studio</i>	21
4.5	<i>Program pro vizualizaci</i>	21
5	Testování.....	23
6	Závěr	25

Seznam použité literatury.....	26
Seznam příloh.....	28

1 Úvod

Podobně jako jsou povodně nebo tornáda přírodní úkazy, které dokážou napáchat mnoho škod, tak i blesky jsou schopny způsobit nemalé škody na majetku a dokonce ztráty na životech. Jejich nebezpečí spočívá v průchodu velkého elektrického proudu kanálem blesku. Tento proud způsobí ohřátí kanálu blesku na vysokou teplotu, při níž snadno vzplane dřevo nebo vybavení domácnosti. Blesk je původcem nejednoho lesního požáru. Dalším ohrožením majetku je elektromagnetické záření vycházející z bleskového výboje. Toto záření způsobuje indukování elektrického proudu hlavně v elektronice, čímž ničí elektronické obvody, které nejsou stavěny na tak vysoké proudy. Dalším úskalím blesku je fakt, že na rozdíl od dnes poměrně přesně předpověditelné povodně, nejsou dostupné techniky pro předvídání, kam blesk uhoří. Není tak k dispozici systém včasného varování.

Tato práce se bude zabývat vytvořením jednotky pro detekci bouřek a blesků, která bude energeticky nenáročná, aby mohla být napájena dlouhodobě z baterie. Z tohoto důvodu bude jako základ použita deska Freescale Freedomboard (FRDM) a k ní se připojí deska s čipem AS3935. Tento dokáže detekovat blesky do vzdálenosti až 40 km.

Je potřeba vytvořit knihovnu funkcí pro FRDM, za jejíž pomoci by byla zajištěna komunikace s čipem AS3935. K tomu je potřeba nejdříve se seznámit i s ostatními způsoby detekce blesků, pak navrhnout a vyrobit prototyp detekční desky a následně tuto desku oživit.

Struktura bakalářské práce je následující. Kapitola 2 se bude zabývat vznikem bouřkových mraků, rozdělením druhů blesků i různými způsoby jejich detekce, od čidel zachytávajících elektromagnetické pole blesku umístěných na povrchu země po optická čidla, jež zachytávají náhlé zjasnění mraků a jsou umístěna na zemské orbitě. Zvláště se zaměří na chování čipu AS3935. Kapitola 3 se bude zabývat samotným návrhem desky plošného spoje vhodného pro připojení FRDM, dále pak vyrobením a osazením prototypu. V kapitole 4 se bude nacházet popis programu pro vizualizaci a popis programu pro FRDM. Kapitola 5 se bude zabývat testováním a postupným odstraňováním nedostatků programu. I rozšiřováním o nové funkce. Kapitola 6 bude věnována shrnutí dosažených výsledků a jejich zhodnocení.

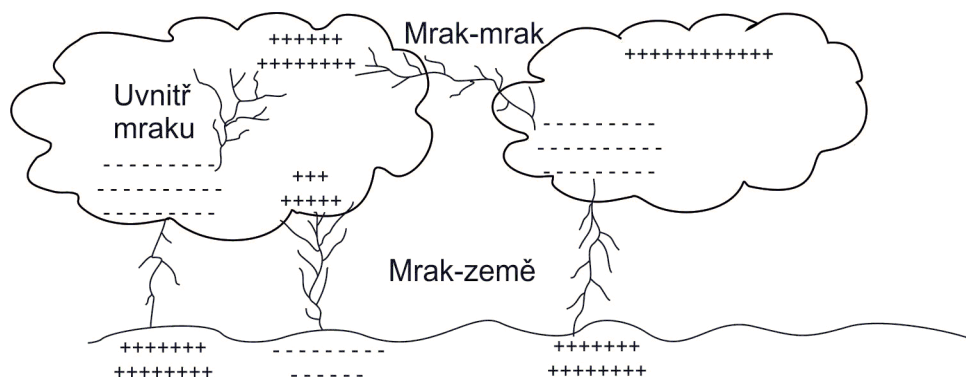
2 Možnosti detekce bouřek a blesků

2.1 Vznik bouřky a její průvodní jevy

V dnešní době nejsou dostupné metody vytváření umělých bouřek. Současným zdrojem bouřek jsou přirozené environmentální procesy. Při ohřátí teplým vzduchem, začne vlhkost stoupat. Jak tyto proudy nebo bubliny teplého vlhkého vzduchu stoupají výše v atmosféře, tak okolní tlak i teplota klesají. Vzduchové bubliny expandují, což způsobuje ochlazení vlhkosti, která nakonec z kondenzuje a vytvoří mraky. Jak se mraky dále ochlazují, více vlhkosti kondenzuje a vodní kapky, tvořící mraky, se zvětšují a spojují, až jsou tak velké a těžké, že je vzdušné proudy uvnitř mraku nemohou udržet. V tomto okamžiku začnou tyto vodní kapky padat jako déšť. [4]

Vzdušné proudy v některých mracích mohou být velmi silné. Byť se netvoří blesky, mohou se akumulací kapek vytvořit kuličky ledu. Když jsou stoupavé proudy velmi silné, mohou se kuličky ledu udržet po dlouhé období, které jim dovolí narůst. Časem se mohou stát příliš velkými pro daný stoupavý proud a začnou padat jako kroupy. Obvykle dosahují průměru od pěti do deseti milimetrů. Největší kroupa zaznamenaná v meteorologické literatuře měla průměr 40 cm a vážila 10 kg [15]. [4]

Dalším projevem bouřky je blesk a s ním spojený hrom. Blesk je elektrický výboj mezi centry kladného a záporného náboje jednoho či více mraků (blesk uvnitř mraku nebo typu Mrak-mrak), mezi mrakem a zemí (blesk typu Mrak-země) nebo mezi oblakem a stratosférou. Po proběhnutí prvotního výboje vznikne viditelný kanál rozžhaveného ionizovaného vzduchu. Blesk se skládá z řady průměrně čtyř výbojů. Délka a doba trvání každého výboje se liší, ale průměrně je asi třicet mikrosekund. Z elektrických účinků blesku vyplývají účinky světelné, akustické, tepelné, mechanické a chemické. [4][5]



Obr. 1: Běžné typy blesků

Hrom je akustickým projevem blesku. Jeho zdrojem je tlaková vlna vznikající prudkým rozpínáním vzduchu ohřátého průchodem elektrického proudu v kanále blesku. [5]

2.2 Druhy blesků

Jedním ze způsobů dělení blesků je podle tvaru blesku. Jedním takovýmto druhem je typ čárový. Takovýto blesk má tvar jediné lomené nebo klikaté čáry. Rozvětvené blesky mají tvar podobný kořenovému systému stromu, jeden hlavní kořen s postranními kořeny. Další jsou blesky plošné. Jedná se o bezhlučné bělavé záblesky bouřkového oblaku nebo jeho části. Vznik takového blesku se vysvětluje nedostatečným nábojem pro vznik čárového blesku. Perlový blesk se skládá z několika jednotlivých svítících těles kulového tvaru, které leží na jedné čáře. Vzdálenost mezi tělesy je 7 až 12 m. Celkový tvar připomíná perly na šňůrce. [16]

Dalším způsobem rozdělení blesků je dělení dle umístění center elektrických nábojů, mezi nimiž se blesk utvořil. Jejich přehled se nalézá na Obr. 1.

Blesky, které se utváří mezi mrakem a zemí jsou označovány jako Mrak-země (Cloud-to-ground lightning). Nejsou nejběžnějším typem blesku, ale jsou nejničivější a nejnebezpečnější. Většina jich pochází z centra nižšího záporného náboje a přenáší negativní náboj do země. Nicméně existují i blesky, jež nesou negativní náboj do mraku. Těchto je citelná menšina, vyskytují se často při rozptýlování bouřky. Jsou také procentuálně častější v zimních měsících. [4]

Nejběžnější jsou blesky uvnitř mraku (Intra-cloud lightning). Nastávají mezi centry opačných nábojů uvnitř téhož mraku. Obvykle se tento proces odehrává uvnitř mraku a zvenčí vypadá jako rozptýlené blikající zjasnění mraku. Nicméně blesk může opustit hranice mraku a jasný kanál podobný blesku mrak-země může být spatřen z velké vzdálenosti. [4]

Dalším typem blesku je blesk mrak-mrak (Cloud-to-cloud lightning). Tento blesk se odehrává mezi centrem jedné polarity uvnitř jednoho mraku a centrem druhé polarity uvnitř mraku druhého. [4]

Existují mnoho dalších označení a popisů různých typů blesků. Některé identifikují podkategorie, další mohou pocházet z optických iluzí nebo mýtů. [4]

2.3 Způsoby detekce blesku

2.3.1 Technika hledání směru magnetismu

Technika hledání směru magnetismu (Magnetic direction finding technique) je použita pro systém širokopásmového určovače směru magnetismu, který měří elektromagnetická pole vyzařovaná blesky za použití dvou vertikálních, navzájem kolmých (orientovány severojižně a východně západně) antén, tvořených smyčkami drátu, a horizontální deskové antény, která určuje polaritu a změny ve vertikálních elektrických polích mrak-země blesků. Vyzářená magnetická pole blesků, naindukují proud, který je indikován smyčkami. Napěťový signál změřený ze smyčky antény je úměrný síle magnetického pole blesku a cosinu úhlu mezi rovinou smyčky a směrem k blesku. Porovnáním napěťových signálů ze dvou smyček může být určen směr blesku. Desková anténa slouží k vyřešení 180° dvojznačnosti související s výpočty. [6]

2.3.2 Technika čas příchodu

Senzory používající techniku času příchodu (Time of arrival technique), používají časový rozdíl mezi zaznamenáním příchodu elektrického pulsu, emitovaného bleskem, na třech stanicích ke konstrukci hyperbol, které unikátně lokalizují blesk. Senzory času příchodu detekují prakticky všechny mrak-země údery během blesku. Protože senzory času příchodu jsou také citlivější než určovače směru magnetismu, některé z blesků uvnitř mraku mohou být také detekovány. [6]

Na každém anténním stanovišti jsou dvě antény, jedna pro detekci blesku, druhá pro příjem časového synchronizačního signálu generovaného geostacionárními satelity. Minimálně tři antény jsou požadovány pro detekci mrak-země blesků pro kalkulaci pozice. Každé stanoviště generuje informaci o bleskem generovaném elektrickém poli a časovém údaji příchodu amplitudy pole. Antény nemají žádné požadavky na umístění. [6]

2.3.3 VKV Interferometrie

Princip VKV interferometrie (VHF interferometry) spočívá ve změření fázového posuvu mezi dvěma VKV pulsy přijatými na páru správně vzdálených antén. Jinými slovy tato technika je principiálně stejná jako příjem frekvenčně modulovaného radiového signálu. Protože VKV pulsy emitované blesky nezahrnují nosnou frekvenci, dvě antény jsou vyžadovány pro určení fázového posunu. [7]

2.3.4 Optický přechodný detektor

Optický přechodný detektor (The optical transient detector (OTD)) je vysoce kompaktní kombinace optických a elektronických elementů. Byl vyvinut v NASA (NASA's Marshall Space Flight Center in Huntsville, Ala.). Název, optický přechodný detektor, představuje jeho schopnost detekovat okamžikové změny v pozorované oblasti, jež indikují výskyt blesků. Hlavní výhodou oproti předchozím technologiím je to, že dokáže sbírat data o blescích i při denních podmínkách stejně jako v noci. Navíc poskytuje mnohem vyšší detekční schopnost a prostorové rozlišení než bylo dosaženo dřívějšími senzory blesku. [8]

V srdci tohoto systému je pevně ustavený optický senzor podobný některým v televizních kamerách. Nicméně při celkovém dizajnu a mnoha specifických vlastnostech, OTD muselo být speciálně vyvinuto pro práci pozorování blesků z vesmíru. Podobně jako televizní kamera, OTD má soustavu čoček, detekční pole a obvody ke konverzi elektronického výstupu systémového detektorového pole na použitelná data. [8]

Senzorový systém (kamera) má přibližně 8" v průměru a 18" na výšku, zatímco krabice pomocné elektroniky je velká asi jako standardní psací stroj. Dohromady, tyto dva moduly váží asi 18 kg. Celková hmotnost satelitu na orbitě je 68 kg. [8]

2.4 AS3935 – Franklin Lightning Sensor

Franklin Lightning Sensor je vývojová sada demonstrující funkčnost integrovaného obvodu AS3935. Je napájen 3 V baterií v případě připojení přes USB port k počítači nebo jinému zařízení je napájení přepnuto na USB. [1]

Čip AS3935 je přenosný plně integrovaný detektor blesku, který detekuje přítomnost a přibližování potenciálně nebezpečné bleskové aktivity ve své blízkosti a udává přibližnou vzdálenost k čelu bouře. Vestavěný algoritmus kontroluje tvar příchozího signálu, aby mohl odstranit potenciálně uměle vytvořené rušení. [2]

Čip dokáže podat informaci o hladině šumu a informovat externí jednotku (například mikrokontrolér) v případě příliš vysoké hladiny šumu. [2]

Čip AS3935 může být napájemán přes čtyř drátovou sběrnici SPI nebo sběrnici I²C. V případě použití I²C je možné zvolit jednu ze čtyř adres. Dva hodinové signály jsou generované dvěma oddělenými RC oscilátory: TRCO a SRCO. Automatická procedura může zvýšit přesnost těchto oscilátorů. Čip AS3935 může být napájen přes vnitřní napěťový regulátor (pin VREG) nebo přímo (pin VDD) z externího zdroje, toto rozhodnutí se provádí pomocí přivedení napěťové úrovně na pin EN_VREG. Je-li spojen s kladným napájecím napětím pak je čip AS3935 napájen přes vnitřní regulátor v případě, že je spojen se zemí, je čip napájen přímo. [2]

Vstup pro anténu (piny INN a INP). Pin INN je zem (GND) antény a INP je kladný vstup antény. [2]

Tab. 1: Kódy událostí generující na pinu IRQ logickou 1 [2]

Název přerušení	REG 0x03[3:0]	Popis
INT_NH	0001	Rušení je příliš vysoké
INT_D	0100	Detekována rušička
INT_L	1000	Přerušení bleskem

Pin pro přerušovací signál (pin IRQ), kdykoliv je detekován blesk nebo je hladina rušení příliš vysoká vygeneruje se na tomto pinu logická 1, aby nadřazený systém věděl, že čip AS3935 vyhodnotil událost, jakou událost vyhodnotil, se dá vyčíst z adresy REG0x03[3:0] kam se запиše kód události. Jednotlivé události jsou znázorněny v Tab. 1. [2]

2.4.1 Pracovní režimy integrovaného obvodu AS3935

Režim vypnutí (Power-down mode), jedná se o režim, v němž je celý čip AS3935 vypnutý aby omezil spotřebu elektrické energie na minimum. [2]

Naslouchací režim (Listening mode), v tomto režimu je zapnuté AFE, watchdog, Generátor prahové hladiny šumu (Noise floor level generation), biasblock, TRCO a napěťový regulátor, je-li zapnutý. V tomto režimu může čip snížit spotřebu proudu na minimum (typicky 60 μ A). V případě

že maximální napájecí napětí nepřekročí 3,6 V, je možné vypnout i napěťový regulátor k ušetření energie. [2]

Ověření signálu (Signal verification), čip AS3935 vstoupí do tohoto módu kdykoliv watchdog detekuje aktivitu zachycenou anténou (vstupní signál antény překročí jistou mez). Čip opustí tento mód buď v případě že je příchozí signál identifikován jako rušička (Disturber) nebo pokud je jednorázová analýza blesku hotova. Pokud je signál klasifikován jako rušička, pak se integrovaný obvod AS3935 automaticky přepne zpátky do naslouchacího režimu bez potřeby zásahu zvenčí a přerušovací signál je vygenerován (nastavením může být toto přerušení maskováno). Pokud přijatý průběh odpovídá všem podmínkám, je provedena kalkulace energie a čip AS3935 předloží odhad vzdálenosti. [2]

2.5 Freescale Freedom vývojové desky

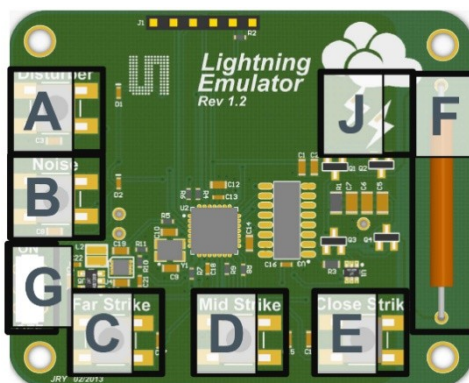
Freescale Freedom vývojové desky (Freescale freedom developers boards, FRDM) jsou malé, nízkopříkonové, nákladově příznivé a jsou to vývojové platformy skvělé pro rychlé aplikační prototypování a demonstrace mikrokontrolérů Kinetics a Freescale senzorů. [17]

V tomto případě byla zvolena Freescale Freedom vývojová platforma pro mikrokontroléry řady Kinetis KL14, KL15, KL24 a KL25 označený FRDM-KL25Z. Jedná se o velice levnou vývojovou platformu pro mikrokontroléry řady Kinetis L KL1x (KL14/15) a KL2x (KL24/25), postavené na procesoru ARM® Cortex™-M0+. Vlastnosti platformy zahrnují jednoduchý přístup ke vstupům a výstupům mikrokontroléru, připravenost pro bateriové napájení, nízkovýkonový provoz, standardní zadávání instrukcí s rozšířenými možnostmi desky a vestavěném odlaďovacím rozhraní pro bleskové programování a ovládání za chodu. FRDM-KL25Z je podporován řadou vývojových programů společnosti Freescale i vývojových programů třetích stran. [17]

Platforma je osazena mikrokontrolérem MKL25Z128VLK4, který pracuje v taktu 48 MHz, je vybaven 128 KB flash pamětí a 16 KB SRAM pamětí, v 80 pinovém pouzdře 80LQFP. [17]

2.6 Emulátor blesku

Neboť není dostupná technologie pro vytváření bouřek s přesně definovanými blesky, tak společnost AMS vyrábí také emulátor blesku (Lightning emulator), jehož účelem je vyzkoušení funkčnosti jejich detektoru blesku. Tento simulátor negeneruje zcela stejný signál jako skutečné blesky a tak je čip AS3935 schopen odhalit, že zaznamenal výstup z emulátoru.



Obr. 2: Pohled shora na emulátor blesku A) Tlačítko pro rušičku, B) Tlačítko pro šum, C) Tlačítko pro vzdálený blesk, D) Tlačítko středně vzdálený blesk, E) Tlačítko pro blízký blesk, F) Anténa, G) Vypínač, J) LED diody signalizující emulaci blesku [3]

Na emulátoru je cívka (na Obr. 2 označená písmenem F), která slouží jako vysílací anténa. Pro testování je doporučeno, aby anténa emulátoru a anténa detektoru blesku byly položeny rovnoběžně 10 až 15 cm od sebe. Blesky simulujeme pomocí tlačítek Vzdálený, středně-vzdálený a blízký blesk (tlačítka C, D a E na Obr. 2). Dále emulátor obsahuje tlačítko pro generování šumu a ohlášení přítomnosti rušičky. Emulátor je napájen 3 V baterií. [3]

2.7 Ovládání čipu AS3935

Pro komunikaci mezi mikrokontrolérem a čipem AS3935 je možné použít dvě sběrnice: SPI a I²C. Signál na pinu SI určuje, která sběrnice je použita. V případě připojení logické nuly indikuje, že je použita komunikace přes sběrnici SPI, v případě připojení logické jedničky je použita komunikace pomocí sběrnice I²C. [2]

Přes I²C je možné číst/přepisovat registry a zasílat přímé příkazy. K povolení I²C je nutné přivést na pin SI (Select interface) kladné napájecí napětí (logickou jedničku). Sběrnice používá jeden vodič pro přenos hodinových pulsů (na pin I2CL) a druhý vodič k přenosu dat (přiveden na pin I2CD). V případě použití této sběrnice je potřeba externí pull-up rezistor na pin I2CL. V případě použití sběrnice I²C, je nutné nastavit čipu AS3935 adresu (pomocí pinů ADD0 a ADD1), v případě použití sběrnice SPI je třeba piny pro adresu uzemnit (přivést na ně logické nuly). [2]

Čtyřvodičové standardní rozhraní SPI může být použito i k naparametrování čipu AS3935. Ke zvolení SPI je třeba na pin SI (Select interface) přivést logickou nulu (GND). Maximální frekvence hodinových pulsů je 2 MHz. Frekvence hodinových pulsů by neměla být stejná jako rezonanční frekvence antény, za účelem zamezení rušení. [2]

Rozhraní SPI se skládá ze čtyř pinů: CS (Chip select) výběr čipu, s nímž je navázána komunikace, vstup sériových dat do čipu AS3935 (MOSI), výstup sériových dat z čipu AS3935 (MISO) a SCLK (Serial clock). Pin MISO je nastaven do třetího stavu v případě, že je na pin CS přivedena logická jednička. [2]

Tab. 2: Struktura instrukce pro komunikaci po sběrnici SPI s čipem AS3935 [2]

Režim		Adresa registru / Přímý příkaz						Data registru							
B15	B14	B13	B12	B11	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0

Příkaz SPI se skládá ze dvou bajtů, sériový příkaz a data jsou načítány při sestupné hraně SCLK (CPHA=1). Tab. 2 zobrazuje strukturu instrukce, jejíž pomocí se bude mikrokontrolér spojovat s čipem AS3935. Proud bitů musí být odesílán od bitu s nejvyšší vahou (MSB, bit B15) po bit s nejnižší vahou (LSB, bit B0). [2]

První dva bity (B15 a B14) rozhodují operační režim. K dispozici jsou dva režimy – čtení a nebo zápis/přímý příkaz. Pro čtení B15 = 0 a B14 = 1. Pro zápis/přímý příkaz B15 = 0 a B14 = 0. [2]

Tab. 3: Tabulka registrů [2]

Registr#	7	6	5	4	3	2	1	0
0x00	Rezervováno		AFE_GB					PWD
0x01	Rezervováno	NF_LEV				WIDTH		
0x02	Rezervováno	CL_STAT	MIN_NUM_LIGHT			SREJ		
0x03	LCO_FDIV		MASK_DIST	Rezervováno	INT			
0x04	S_LIG_L							
0x05	S_LIG_M							
0x06	Rezervováno					S_LIG_MM		
0x07	Rezervováno			VZDÁLENOST				
0x08	DISP_LCO	DISP_SRCO	DISP_TRCO	Rezervováno	TN_CAP			
0x09	Přehledová tabulka zaznamenaných blesků							
...								
...								
...								
...								
0x32								

V případě režimu čtení nebo zápis definuje dalších šest bitů (B13 až B8) adresu registru která musí být vysílána respektive čtena od nejvýznamnějšího bitu po nejméně významný. V Tab. 3 je přehled informací na jednotlivých adresách. [2]

2.7.1 Vstupní zesilovač a Watchdog

Vstupní zesilovač zesiluje (Analog front-end) a demoduluje signál snímáný anténou. Protože čip AS3935 je detektor blesku používající úzkopásmovou přijímací techniku (narrow band receiveing technique), je šířka pásma vstupního zesilovače větší než šířka pásma přijímaná anténou. Díky tomu je možné brát zesílení v pásmu antény jako konstantu. Zesílení vstupního zesilovače je v základním nastavení optimalizováno k použití uvnitř budov. Pokud je čip AS3935 používán venku, je třeba upravit zesílení vstupní zesilovače na nižší hodnotu, jak ukazuje tabulka Tab. 4. [2]

Tab. 4: Nastavení zesílení vstupního zesilovače dle provozování čipu AS3935 [2]

Nastavení vstupního zesilovače	REG 0x00[5:1]
Uvnitř	10010
Venku	01110

Výstupní signál je monitorován watchdogem, který umožní validaci signálu, pokud vstupní signál překročí danou mez. Čip AS3935 je automaticky přepnut zpět do přijímacího módu, ve chvíli kdy blok validace signálu provedl ověření povahy přijatého signálu (blesk nebo rušička). Pomocí registru REG 0x01[0:3] je možné změnit hodnotu meze pro spuštění validace, pro zvýšení odolnosti vůči rušičkám za cenu ztráty citlivosti vůči vzdáleným bleskům. [2]

2.7.2 Vyhodnocení šumu a generace hladiny šumu

Výstup vstupního zesilovače je také používán ke generování hladiny šumu. Tato hladina je stále porovnávána s referenčním napětím (hranicí šumu). Kdykoliv šum překročí hranici šumu, čip AS3935 vygeneruje přerušení k informování nadřazeného systému, že nemůže pracovat správně kvůli velkému vstupnímu šumu přijatého anténou. Je možné změnit hranici šumu bity REG 0x01[6:4] jak ukazuje Tab. 5 [2]

Tab. 5: Nastavení hraniční hladiny šumu [2]

Vstupní hladina šumu [μV_{RMS}] (venku)	Vstupní hladina šumu [μV_{RMS}] (uvnitř)	REG 0x01[6]	REG 0x01[5]	REG 0x01[4]
390	28	0	0	0
630	45	0	0	1
860	62	0	1	0
1100	78	0	1	1
1140	95	1	0	0
1570	112	1	0	1
1800	130	1	1	0
2000	146	1	1	1

2.7.3 Nastavení antény

Čip AS3935 používá jako anténu paralelní LC rezonanční obvod. Rezonanční obvod musí být navržen tak aby jeho rezonanční frekvence byla 500 kHz a kvalitativní faktor okolo 15. S nastavením registrů je možné poslat na pin IRQ rezonanční frekvenci antény jakožto digitální signál s registrem REG0x08[7]=1. Externí jednotka může měřit tuto frekvenci a vyladit anténu přidáváním nebo ubíráním vnitřních kondenzátorů pomocí registru REG0x08[3:0]. Je nutné vyladit anténu s přesností $\pm 3,5\%$ k optimalizaci vyhodnocování signálu a vzdálenosti čela bouřky. Rezonanční frekvence je vnitřně vydělena koeficientem, který se nastavuje registrem REG0x03[7:6]. [2]

Tab. 6 ukazuje velikost tohoto koeficientu.

Tab. 6: Dělicí koeficient pro ladění antény [2]

Dělicí poměr	REG 0x03[7]	REG 0x03[6]
16	0	0
32	0	1
64	1	0
128	1	1

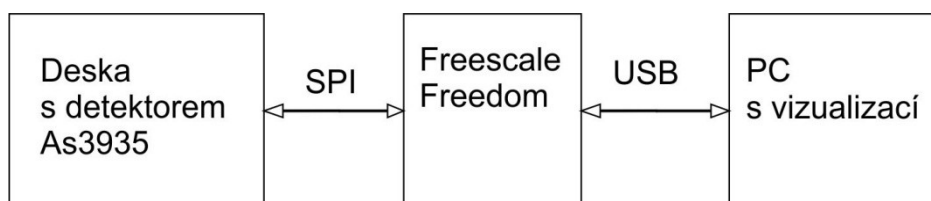
3 Návrh HW prototypu jednotky pro detekci bouřek a blesků

3.1 Editor plošných spojů EAGLE

Pro vytvoření návrhu prototypu, je použit editor plošných spojů EAGLE od společnosti CadSoft. Název programu je zkratkou z anglického Easily Applicable Graphical Layout Editor, což v překladu znamená snadno použitelný grafický editor rozvržení. EAGLE tomuto popisu odpovídá. Je uživatelsky přívětivý, snadno se s ním naučí lidé začínající navrhovat plošné spoje. Jeho Freeware licence určená pro nekomerční nebo studijní účely nemá nijak omezené funkce. Je omezena pouze počtem listů editoru schémat, maximální velikostí desky 100×80 mm a maximálně dvěma vrstvami tištěného spoje. [10][11]

Neboť není předpokládáno, že by byl prototyp nějak složitý nebo velký, měla by Freeware licence pokrýt veškeré potřeby jeho návrhu.

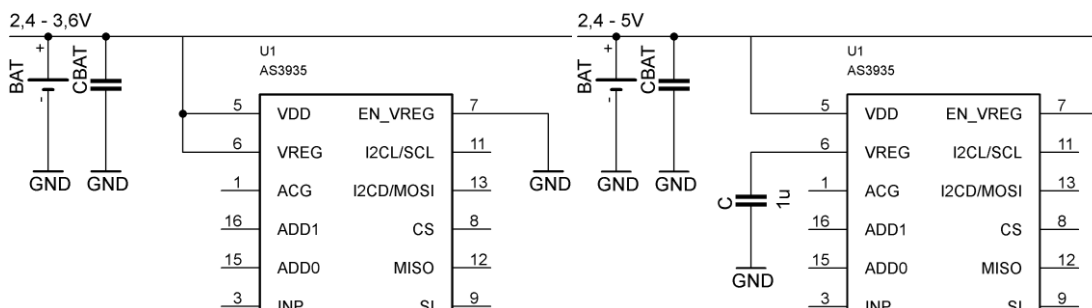
3.2 Základní představa fungování zařízení



Obr. 3: Základní bloková představa realizovaného zařízení

Základní představa fungování je zobrazena na Obr. 3. Pomocí integrovaného obvodu AS3935 se bude zjišťovat vzdálenost k čelu bouře. Po konzultaci s vedoucím bakalářské práce je rozhodnuto, že čip AS3935 bude komunikovat s freedom platformou (FRDM) přes sběrnici SPI (FRDM bude člen řídící) a tato platforma zajistí i komunikaci s počítačem přes USB. V počítači bude pomocí jednoduchého programu zajištěna možnost přenastavení parametrů měření (maximální hladina šumu, generování přerušovacího signálu při indikaci rušičky ap.) a současně možnost zobrazit současné naměřené hodnoty.

Aby detektor AS3935 plnil svou funkci, potřebuje napájení, anténu a komunikační sběrnici s FRDM.



Obr. 4: Možnosti připojení napájení k čipu AS3935, vlevo s vypnutým napěťovým regulátorem, vpravo je regulátor zapnut [2]

Čip AS3935 je schopen pracovat s napájecím napětím 2,4 V až 5,5 V, v případě že je integrovaný napěťový regulátor zapnutý. Na Obr. 4 vpravo je zapojení, kde je napěťový regulátor zapnutý. V případě kdy je regulátor vypnutý, klesá horní hranice rozsahu napájecího napětí na 3,6 V. Tento případ zapojení napájení je zobrazen na Obr. 4. [2]

Pro správnou funkci potřebuje napěťový regulátor, aby mezi jeho vstup označený VREG a GND byl připojen kondenzátor C o velikosti 1 μ F. [2]

Procesor KL25Z128VLK4 na FRDM je připojen na 3,3 V napájení [9]. Tímto jsou logické hodnoty na jeho vstupech a výstupech odvozeny od této napěťové úrovně. Kvůli zachování napěťových úrovní logických hodnot bude čip AS3935 napájen z linky 3,3 V. Tedy není nutné, aby byl napěťový regulátor zapnutý. Ušetří se tak i jeden kondenzátor.

$$f_{\text{REZ}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \quad (1)$$

Tab. 7: Rozsah rezonanční frekvence

	C21[F]	C22[F]	$f_{\text{REZ}}[\text{Hz}]$	$f_{\text{REZmin}}[\text{Hz}]$	$f_{\text{REZmax}}[\text{Hz}]$
Výkres	$1,00 \times 10^{-9}$	$1,00 \times 10^{-12}$	503041	479630	530251
Soupiska	$6,80 \times 10^{-10}$	$2,70 \times 10^{-10}$	516367	492336	544298

Dále je potřeba navrhnout anténní obvod. Anténa MA5532-AE je určena pro čip AS3935. Je také použita na demonstračním přípravku od společnosti AMS. Návrh anténního obvodu je převzat z dokumentace k demonstračnímu přípravku. V dokumentaci[1] je rozpor ohledně velikosti ladících kondenzátorů C21 a C22. Dle výkresu mají velikost 1 nF a 1 pF, dle soupisu materiálu mají velikost 680 pF a 270 pF s tolerancí ± 1 %. Za předpokladu stejné tolerance i pro kondenzátory na výkrese a pomocí vzorce (1) byl spočten výsledný rozsah kmitočtů a zanesený v tabulce Tab. 7.

Anténa musí být naladěna na 500 kHz s přesností $\pm 3,5$ %, tím se dostáváme k rozsahu 482,5 až 517,5 kHz. Rezonanční frekvence anténního obvodu může být snížena vnitřními kondenzátory AS3935. Omezujícím parametrem tedy není maximální možná rezonanční frekvence zapojení, ale frekvence nejnižší. V té chvíli by kombinace velikostí kondenzátorů z výkresu byla nepoužitelná neboť frekvence 479,63 kHz je mimo toleranci nastavení antény a tuto hodnotu by již nebylo možné zvýšit. Z toho důvodu je vybrána kombinace velikostí kondenzátorů ze soupisky materiálu.

Napájení a anténní obvod je tedy navržen zbývá navrhnout propojení s FRDM. FRDM má vyvedené čtyři porty označené J1, J2, J9 a J10. Na každém z portů je skupina pinů, které mohou sloužit k různým účelům. Čip AS3935 potřebuje být propojen s FRDM napájením, komunikační sběrnici SPI, přerušovacím signálem od AS3935 a signálem od FRDM, který oznamuje čipu AS3935, že se pro komunikaci použije sběrnice SPI.

Čip KL25Z, kterým je FRDM vybaven, obsahuje dva porty SPI. Každý port SPI se skládá ze čtyř pinů: SCK, PCS0 a dvou MISO/MOSI. K propojení je potřeba kompletní sběrnice SPI.

J1					J2				
MISO/MOSI	PTC7	1	2	PTA1	PTC12	1	2	PTA13	
	PTC0	3	4	PTA2	PTC13	3	4	PTD5 SCK	
	PTC3	5	6	PTD4 PCS0	PTC16	5	6	PTD0 PCS0	
PCS0	PTC4	7	8	PTA12	PTC17	7	8	PTD2 MISO/MOSI	
SCK	PTC5	9	10	PTA4	MISO/MOSI	PTA16	9	10	PTD3 M ISO/MOSI
MISO/MOSI	PTC6	11	12	PTA5	MISO/MOSI	PTA17	11	12	PTD1 SCK
	PTC10	13	14	PTC8		PTE31	13	14	GND
	PTC11	15	16	PTC9		NC	15	16	VREFH
					MISO/MOSI	PTD6	17	18	PTE1 MISO/MOSI
					MISO/MOSI	PTD7	19	20	PTE0

J9					J10				
	PTB8	1	2	SDA_PTD5	PTE20	1	2	PTB0	
	PTB9	3	4	P3V3	PTE21	3	4	PTB1	
PCS0	PTB10	5	6	PTA20	PTE22	5	6	PTB2	
SCK	PTB11	7	8	P3V3	PTE23	7	8	PTB3	
SCK	PTE2	9	10	P5V USB	PTE29	9	10	PTC2	
MISO/MOSI	PTE3	11	12	GND	PTE30	11	12	PTC1	
PCS0	PTE4	13	14	GND					
	PTE5	15	16	P5-9V VIN					

Legenda barev:

SPI1



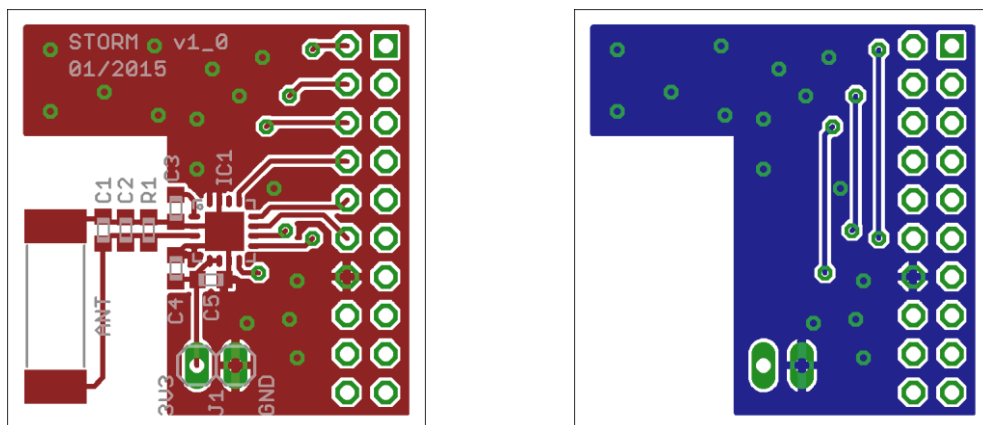
SPI0

GND

+3,3V

Obr. 5 Rozložení pinů na portech FRDM [18]

Rozložení pinů na portech FRDM jsou zobrazeny na Obr. 5. Z tohoto obrázku je patrné že piny s kladným napájecím napětím se nacházejí jen na portu J9. Na tomto portu se však nenachází kompletní port SPI. Chybí druhý pin MISO/MOSI, který je pro komunikaci potřeba. Kdyby byl použit tento port musel by se natáhnout jeden spoj k pinu MISO/MOSI na jiném portu. Toto řešení je po konzultaci s vedoucím bakalářské práce zavrhnuto. Místo něj bude použito řešení, kdy se použije port obsahující kompletní sběrnici SPI a pomocí dvou vodičů bude deska připojena k napájení. Dle Obr. 5 může být v tomto případě použit buď port J1 nebo J2. Na obou portech se nachází všechny čtyři piny sběrnice SPI. Pro port J2 navíc hovoří i fakt, že obsahuje pin GND, čímž by bylo možné zaručit stejnou napěťovou úroveň nulového potenciálu i v případě že by chtěl někdo napájet demonstrační přípravek z jiného zdroje než přímo z FRDM. Pro propojení je zvolen tedy port J2 a zvlášť napájecí port. Celkové schéma zapojení se nachází v Příloha 1.

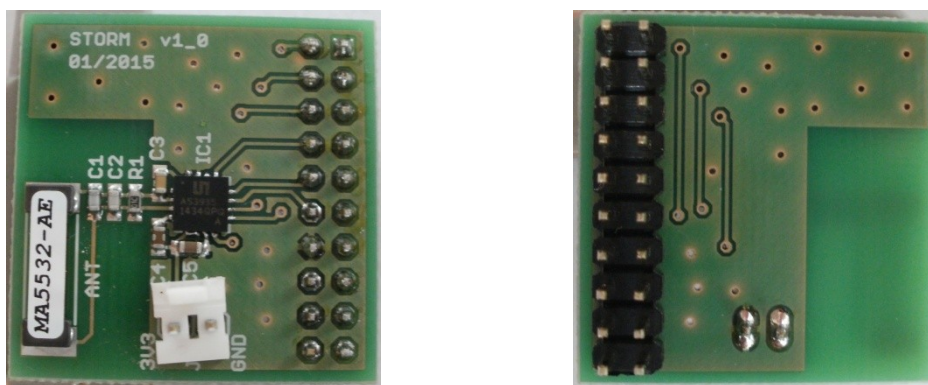


Obr. 6: Finální návrh plošného spoje prototypu v měřítku 2:1 vlevo horní vrstva, vpravo dolní vrstva

Když je schéma zapojení hotovo je na řadě vytvořit návrh plošného spoje. Aby se zajistilo nízké ovlivnění antény sběrnicemi na desce FRDM je prototyp orientován tak, aby byla anténa co nejdál od FRDM. Jedná se o poměrně jednoduché zapojení, tedy byly z počátku snahy o jednovrstvou desku. Některé cesty se však tímto způsobem dosti protáhly oproti ostatním což vzhledem k poměrně vysoké frekvenci sběrnice SPI (až 2MHz), by mohlo přinést problémy. Proto je návrh upraven na dvouvrstvou desku, jak je vidět na Obr. 6.

Výsledná deska je $27,45 \times 27,762$ mm velká. Nestandardní rozměry vznikly důsledkem snahy o co nejmenší desku bez toho, že by byly kontrolovány absolutní hodnoty rozměrů. Signálové cesty jsou široké 0,12". Rozestupy mezi signálovými cestami jsou alespoň 0,12" široké. Všechny vrstvy jsou měděné, 35 μ m tlusté. Prokovy jsou osmiúhelníkové o průměru 0,81 mm, samotné díry mají průměr 0,5 mm. Prokovy spojující horní a dolní GND plochy jsou rozmístěny nepravidelně.

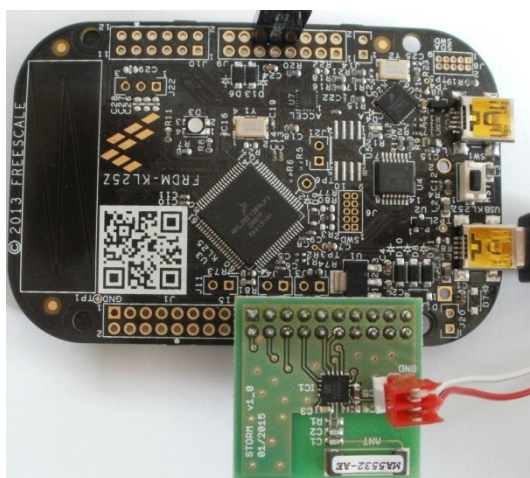
Deska je 1,55mm tlustá, z materiálu označeného FR 4 (typ sklolaminátu). Nepájivá maska má zelenou barvu. Na spodní straně desky je jen port J2, potisk z této strany desky postrádá smysl. Potisk je tedy jen z horní strany desky.



Obr. 7: Osazený prototyp desky s čipem AS3935, vlevo pohled shora, vpravo pohled zespoda

Čtyři desky s těmito parametry jsou vyrobeny u externí firmy. Následně jsou tři z nich osazeny součástkami koupenými u společnosti Farnell, nebo v případě antény a čipu AS3935 získanými jako reklamní vzorky.

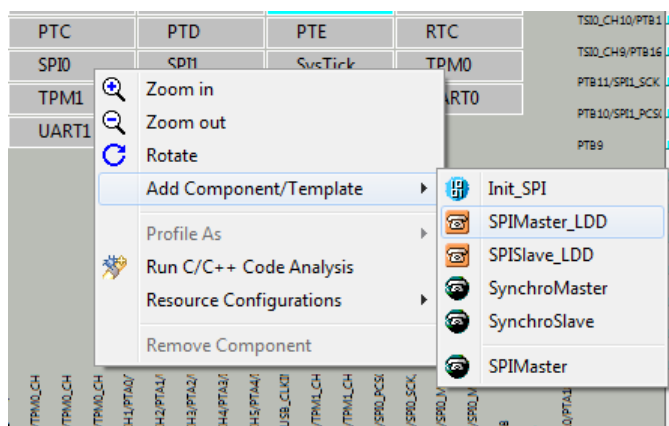
Desky jsou zapájeny v universitních laboratořích. Pájecí pasta je nanášena pomocí pneumatického dávkovače, následně jsou na desku položeny SMD součástky. Dalším krokem je zahřátí v peci, čímž se pasta zapeče a vytvoří tak pevné vodivé spojení mezi součástkou a deskou. Po zapečení jsou desky zkontrolovány a případné nechtěné spoje jsou mikropájkou odstraněny. Fotografie osazené desky je na Obr. 7.



Obr. 8: Deska s čipem AS3935 zasazená do FRDM

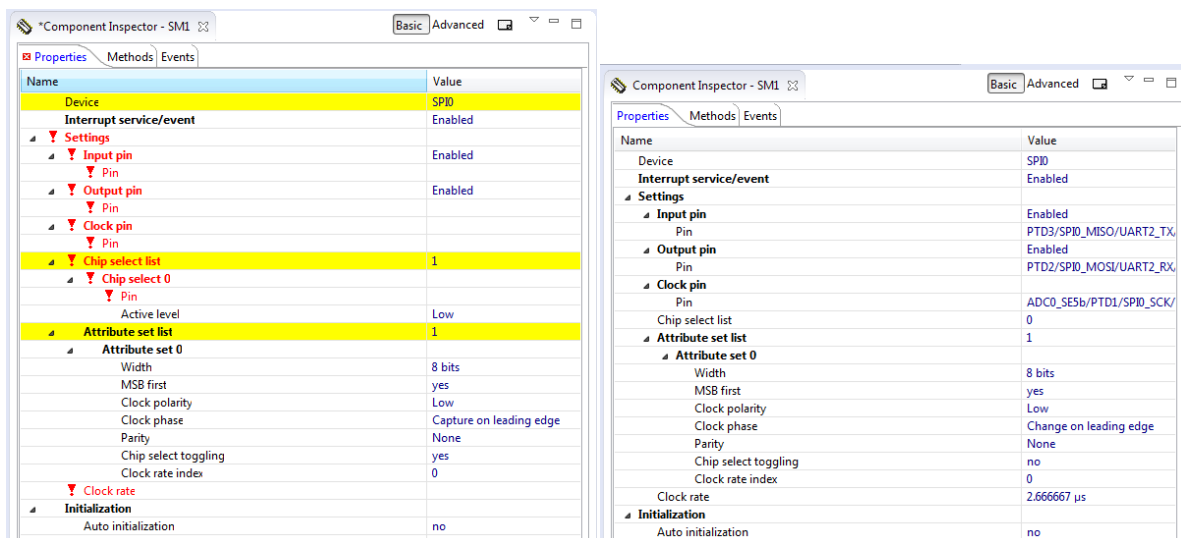
Na Obr. 8 je vidět, že anténa na desce prototypu je na opačné straně desky než konektor k připojení k FRDM, tedy v největší možné vzdálenosti od něj, aby se zamezilo případnému rušení z některé sběrnice na FRDM.

Rychlým způsobem jak přidat komponentu Processor Expertu do projektu je přepnout se v Codewarrioru do perspektivy Hardware, kde je MCU přehledně zobrazen. Vzhled procesoru MKL25Z128VLK4 v této perspektivě je vidět na Obr. 9.



Obr. 10: Přidání komponenty SPIMaster_LDD

Přidání komponenty SPIMaster_LDD na sběrnici SPI0 je v této perspektivě přímočaré. Pravým tlačítkem myši se klikne na označení komponenty v zobrazení MCU. Vybere se položka Add Component/Template a zde vyberu komponentu. Jak je vidět na Obr. 10.



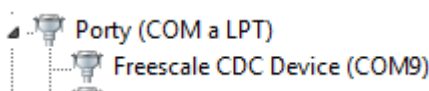
Obr. 11: Zobrazení parametrů komponenty SPIMaster_LDD v Processor Expert, vlevo nově vytvořená komponenta, vpravo komponenta připravená k použití

Po přidání komponenty SPIMaster_LDD se v Component Inspectoru tato komponenta otevře. Ve chvíli vytvoření má jen základní nastavení. Červenými vykřičníky upozorňuje na parametry, které je třeba doplnit nebo upravit, jak je vidět na Obr. 11 vlevo, aby byla komponenta funkční. V případě, že je chyba v jiné záložce Component Inspektoru je tato záložka označena bílým x v červeném poli. Po úpravách je nutné ještě nastavit metody a přerušení, které se budou k této komponentě vázat.

Chvíle, kdy jsou parametry komponenty nastaveny správně, je poznatelná dle toho, že v žádné ze záložek není žádný vykřičník, jak je vidět na Obr. 11 vpravo. Ve chvíli, kdy jsou takto přidány a nastaveny všechny komponenty, které mají být do projektu přidány, stiskne se tlačítko Generate Code. Po stisknutí tohoto tlačítka se vygeneruje vše potřebné pro funkčnost těchto komponent a je možné jejich metody použít v programu.

4.2 Program pro FRDM

Program pro FRDM musí zvládat komunikaci s počítačem přes USB sběrnici a současně ovládat komunikaci přes SPI s čipem AS3935 který je umístěn na vyrobené desce z Obr. 7.

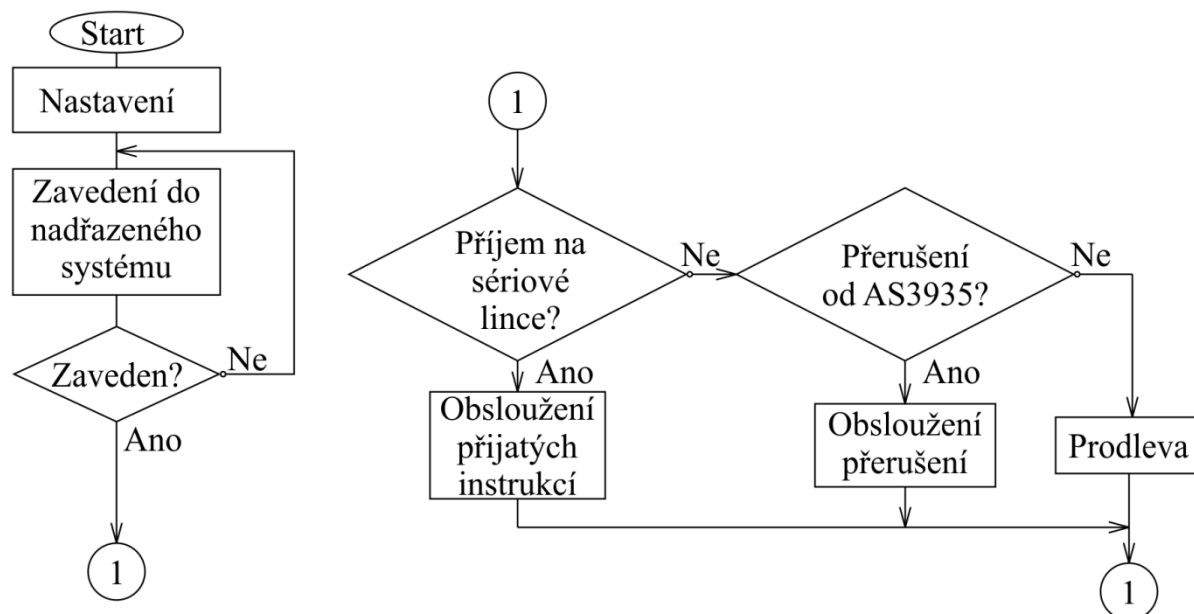


Obr. 12: Zaznamenaný FRDM jako Freescall CDC Device

Komunikace s počítačem přes USB je pro Freescall MCU řešena pomocí CDC driveru. Na základě tohoto driveru je postavena komponenta FSL_USB_Stack. Přesný popis jak tuto komponentu nastavit se nachází v článku[13]. Při použití tohoto postupu je zajištěno, že počítač vidí FRDM jako zařízení připojené přes sériový port Freescall CDC Device, jak je vidět na Obr. 12.

Za tímto účelem je potřeba rozšířit základní knihovnu komponent Processor Expertu v Codewarrioru o komponenty vytvořené autorem tohoto článku konkrétně komponenty FSL_USB_Stack a Wait (případně i komponentu LED). Při prvním použití komponenty FSL_USB_Stack je potřeba po vybudování komponent Processor Expertu nainstalovat do počítače ovladač cdc.inf, který byl vytvořen ve složce Documentation v projektu.

Hlavní smyčka programu uvedená v článku [13] je velice přehledná. Nejdříve cyklicky ověřuje, že byl FRDM zaveden do počítače jako sériová linka. V tomto cyklu je zelená LED dioda zhasnutá a červená bliká v rytmu jednotlivých cyklů ověřování (natolik rychle že je to okem téměř nepostřehnutelné). Po té co je ověření vyřízeno kladně se červená LED vypne a v rytmu dalších cyklů začne blikat zelená. V tomto druhém cyklu poslouchá zařízení na sériové lince. V případě že na ni detekuje příchod informací tak je načte a následně bez úprav pošle zpět. V případě že žádné informace nepřicházejí tak počká deset milisekund a znovu naslouchá. [13]



Obr. 13: Vývojový diagram hlavní smyčky programu pro FRDM

Tato smyčka programu je přímo použitelná i pro tento projekt jen je třeba přidat vyřešení instrukce, která přišla a místo odeslání dat, jež přišly odeslat výsledky provedených instrukcí. Navíc je třeba ještě ošetřit případy kdy se čip AS3935 hlásí o pozornost svým přerušovacím signálem a odeslat důvod tohoto signálu. Vzhled vývojového diagramu pro hlavní smyčku programu, po těchto změnách, můžete vidět na Obr. 13.

Start bajt	Instrukce/Data	Stop bajt
0xFB	0xFC

Instrukce čtení (2 Bajty):	
0x01	Kód registru

Instrukce Zápisu (3 Bajty):		
0x02	Kód registru	Nová hodnota

Hodnota registru (2 Bajty):	
Kód registru	Současná hodnota

Obr. 14: Komunikační protokol mezi FRDM a vizualizaci v počítači

Správné fungování tohoto uspořádání je zajištěno volbou nebo vytvořením protokolu pro komunikaci mezi FRDM a aplikací v počítači. Je zvoleno přímé uspořádání instrukcí / dat jak je vidět na Obr. 14. Kód registru nedosáhne hodnotu start nebo stop bajtu, jediným problémem by mohly být hodnoty, protože některé buňky v registrech mají velikost jednoho bajtu. Za tímto účelem je zavedeno jednoduché opatření, kdy pokud hodnota dosáhne nebo přesáhne hodnotu 0xFA, bude rozdělena na dva bajty první hodnoty 0xFA a druhý hodnoty která chybí do hodnoty registru. Tím se zabrání, aby se v instrukcích objevila hodnoty, jež by mola být zaměněna za start nebo stop bajt.

Přímé použití komponenty FSL_USB_Stack není možné, neboť v ní chybí dvě definice. Tyto je třeba identifikovat, upravit a doplnit pro správné a přehledné fungování komponenty.

Tím je vyřešeno jak dostat instrukce a nové hodnoty registrů do FRDM. Je třeba vyřešit jak tyto informace předat čipu AS3935. K tomuto účelu je stvořená komponenta Processor Expertu SPIMaster_LDD, jejímž účelem je obsluhovat komunikaci po SPI sběrnici. Hardware prototypu je navržen tak, aby se této komponentě dala bez potíží zadat sběrnice SPI0 na portu J2.

Komponenta SPIMaster_LDD neumí pracovat s pinem chip select. Jeho hodnotu nastaví do pozice komunikace otevřena při inicializaci a pak už ji není schopná změnit. Toto však nevyhovuje čipu AS3935. Pro něj je nutné pravidelně nulovat hodnotu tohoto pinu při počátku komunikace a při jejím ukončení jej zase nastavit do logické jedničky. Tento nedostatek je vyřešen tak, že se komponentě SPIMaster_LDD tento pin nepřihadí a nastaví se zvlášť jako obecný výstupní pin, který je ovládán v programu a je nutné na něj pamatovat před každým spuštěním komunikace s čipem AS3935 i při jejím ukončení.

Dalším vlastností této komponenty je fakt, že sice sama vygeneruje jednu funkci pro čtení a druhou pro zápis, ale ve funkci pro čtení chybí generování hodinových pulsů pro sběrnici. Tato skutečnost, je řešena tím, že se funkce pro čtení volá po funkci pro zápis a přečte se, co bylo přijato, zatímco funkce pro odeslání odeslala nulovou/libovolnou hodnotu.

Při komunikaci s čipem AS3935 je při čtení nejprve potřeba odeslat adresu registru, jež chceme číst a následně přečíst jeho hodnotu, která přijde s další osmicí hodinových pulsů. Čipu AS3935 je jedno jestli FRDM odesílá nějaká data, poté co přijal žádost o čtení, začne s dalšími hodinovými pulzy odesílat hodnoty v registrech od adresy, kterou dostal.

4.3 Knihovna pro program pro FRDM

Komponenta SPIMaster_LDD obsahuje více nežádoucích vlastností, které je třeba vyřešit postupy popsány v kapitole 4.2. Tato řešení je vhodné uzavřít do funkcí pro pohodlné používání sběrnice SPI. Za tímto účelem vznikla knihovna spi_AS3935_ovladani.h, která v sobě skrývá funkce pro přečtení nebo přepsání registru na určité adrese.

Funkce precti_byte pro přečtení registru/registrů na jedné adrese je postavena poměrně přímočaře. Nejdříve upraví bajt s adresou, aby první dva bity byly 01, jak je uvedeno v bodu 2.7. Následně je signál chip select uveden do logické nuly, za účelem otevření spojení. Odešle se bajt s adresou a požadavkem pro čtení, současně je postaráno o prázdný bajt, jenž je přijat komponentou SPIMaster_LDD. Dále se odešle libovolný bajt (aby se vygenerovaly hodinové pulsy pro sběrnici SPI) a přijme se hodnota registru/registrů na dané adrese. Zbývá vrátit signál chip select na logickou jedničku a aby funkce tuto hodnotu vrátila.

Přečíst co se nachází na adrese registru už FRDM umí, naučit ho jak to přepsat je jednoduché. Funkce zapis_byte začne podobně, upraví se bajt s adresou, první dva bity na 00 dle bodu 2.7, chip select se nastaví do logické nuly, pak se tento bajt odešle, následně se odešle bajt s hodnotou, která je na této

adrese požadována. Při obou odesláních je třeba se postarat o bajty, jež byly přijaty komponentou. Hodnota chip select se vrátí do logické jedničky.

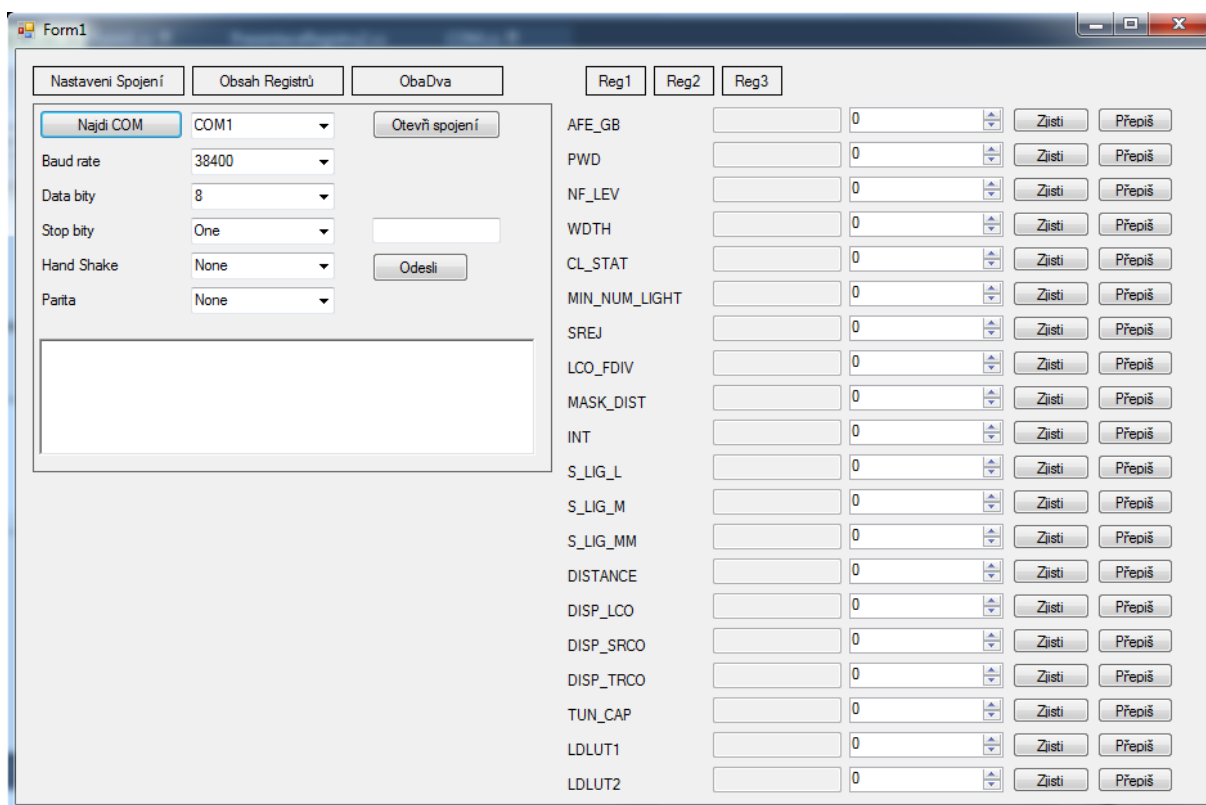
Funkce proved je vytvořena, aby byl přepsán nebo přečten (alespoň z pohledu zvenčí) jen jeden registr. Její činnost se dá popsat takto: nejdříve zjistí hodnoty registrů na dané adrese, pomocí funkce `precti_byte`, pak změní hodnotu jen zvoleného registru. Následně tyto hodnoty opět zapíše na danou adresu v registrech čipu AS3935, pomocí funkce `zapis_byte`. V případě, že stačí hodnot přečíst tak vezme z přečteného bytu jen hodnotu, která je požadována a odešle ji přes sériovou linku.

4.4 Visual Studio

Jedná se o ucelené vývojové prostředí pro vytváření aplikací pro různé systémy. Toto prostředí pomáhá uživatelům se všemi částmi tvorby aplikací od návrhu přes ladění a optimalizaci k testování a instrumentaci. Díky velkému množství nástrojů je možné využít jazyků C#, Visual Basic, C++ i JavaScript k vytváření aplikací.[14]

4.5 Program pro vizualizaci

Účelem programu pro vizualizaci je přehledně ukázat stav registrů a umožnit jejich současnou hodnotu dle potřeby měnit.



Obr. 15: Vzhled programu pro vizualizaci

Na Obr. 14 je zobrazen formát dat, který program ve FRDM předpokládá. Je tedy třeba vytvořit user control nazvaný COM jehož účelem je připojit se na tuto sériovou linku a zajistit odesílání a přijímání dat. Obsahuje tři tlačítka první „Najdi COM“ slouží k aktualizaci seznamu systému dostupných sériových linek. Dalším je tlačítkem je tlačítko „Otevři spojení“. Na jedné sériové lince může být na každém konci maximálně jedno zařízení. Toto tlačítko vyvolá akci, při které se program připojí na sériovou linku zvolených parametrů. Ve chvíli stisknutí tohoto tlačítka se zablokuje možnost hýbat s parametry sériové linky a tlačítko se změní na „Zruš spojení“ čímž tlačítko změní funkci na ukončení spojení. User control COM je zobrazen na Obr. 15 v levé části okna.

Druhý user control v programu pro vizualizaci se jmenuje PrezentaceRegistru2 jeho úkolem je na dotázání zobrazit současný stav registrů a umožnit jeho změnu. Je vytvořen pro jeden obecný registr a ve chvíli spuštění programu se vytvoří jeden user control pro každý registr a jeho popis se upraví tak aby odpovídal danému registru. Těchto registrů je tolik, že by se na obrazovku nevešly. Proto je jich zobrazeno jen 20 a pomocí tlačítek „Reg1“ až „Reg3“ se volí, která třetina se jich zobrazí.

Je možné zobrazit pouze user control pro práci se sériovou linkou nebo jen reprezentaci registrů. Toto zajišťují tlačítka v okně (Obr. 15) vlevo nahoře.

5 Testování

Při tvorbě programů je třeba pravidelně kontrolovat, jestli část kódu, jež je vytvořena funguje korektně. Zpočátku, když je ve FRDM ještě nahrán příklad kódu z [13], byla vytvořena první verze user controlu COM, který ke čtení dat ze sériové linky používá funkci „`_serialPort.ReadChar();`“. Je testován pomocí FRDM, pomocí latinských písmen. V této chvíli se objevil nedostatek. V případě více písmen je vráceno písmeno pouze jedno. Nedostatek se ukázala nakonec být ve špatném nastavení pod komponenty v Processor Expertu. Jednalo se o tzv. „RingBuffer“, pro příjem dat ze sériové linky, v němž byla nastavena maximální velikost na jeden bajt. Zvětšením této velikosti se tento problém odstraní. A vše vypadá v pořádku.

Pak je vytvořena první varianta prezentace registru a je na řadě pokus o odeslání sady bytů ve tvaru komunikačního protokolu na Obr. 14. V té chvíli nastává problém neboť se Start a Stop bajty nevrátily ve stavu, v jakém měly, staly se z nich otazníky. Problém je vyřešen zjištěním, že proměnná char v jazyce C# má velikost dva bajty a ne jeden, jak tomu je v jazyce C. Otazníky to jsou proto, že znaková sada UTF-16 má v místě hodnot Start a Stop bajtu speciální znaky a proto byly při kódování do UTF-16 nahrazeny otazníkem. Tento problém je vyřešen snadno, funkce „`_serialPort.ReadChar();`“ byla nahrazena funkcí „`_serialPort.ReadByte();`“, která z nějakého důvodu vrací hodnotu ve tvaru proměnné int, ale již nemění některé hodnoty na unifikované otazníky a přetypovat int na bajt není obtížné.

Následuje vylepšení programu pro FRDM, aby instrukce překládal pro čip AS3935 a pak vracel zjištěné hodnoty zpátky. Z neznámého důvodu FRDM neodesílá žádná data na SPI sběrnici. Osciloskopem se nedaří zjistit ani hodinové pulsy na sběrnici. Při ladění padá program do přerušení HardFault a nedaří se tomuto padání zabránit. Při konzultaci je vytvořen nový program obsahující pouze cyklické odesílání bajtu přes SPI. Tento program funguje a nepadá do tohoto přerušení. Jsou na něj tedy přeneseny funkce vytvořené pro předchozí program a nadále funguje. Program pro FRDM v této chvíli ještě neumí pracovat s přerušovacím signálem od čipu AS3935, umí plnit příkazy, které mu přijdou po sériové lince.

První varianta prezentace registrů je z programátorského hlediska mírně řečeno nevhodná. Je třeba vytvořit novou a lepší. Při této předělávce však došlo k chybě. Při čtení se náhle vracelo o informaci více, než mělo. Ukazuje se, že při tvorbě nového user controlu došlo k prohození kódu instrukce pro čtení a pro zápis. Tato chyba je odstraněna prohozením těchto hodnot v user controlu na správná místa.

Po této úpravě se ukazuje chyba další, hodnoty, které FRDM vracel, byly mimo hodnoty, které by se v některých registrech mohly nacházet (příliš vysoké). Dle osciloskopu, proběhlo na SPI sběrnici vše jak mělo. Jak odeslání požadavku pro čtení tak přijetí hodnot na dané adrese. Problém tedy musel být ve FRDM. Ukazuje se, že jeden switch určený pro úpravu hodnot z adresy na hodnotu požadovaného registru měl základní nedostatek. Ve zhruba 50 případech, které řešil, nebyl ani jednou použit příkaz „`break;`“, který by zastavil změny v nastavení úprav, důsledkem toho jsou použity

vždy úpravy jako pro čtení registrů s historií zaznamenaných blesků. Problém je vyřešen dodáním tohoto příkazu všude kam patří.

Nyní se chybná hodnota omezila jen na registry, jejichž hodnota je nula. Ukazuje se, že příkaz pro odeslání pole na sériovou linku z FRDM bere nulu jako ukončovací znak odesílání a tedy neodešle ji ani nic za ní. Pomoc z tohoto problému je poměrně přímočará, každou hodnotu nula, která by se měla odeslat nahradit nějakou hodnotou, která se v komunikaci jinak nevyskytne. Hodnoty nad 0xFA jsou ošetřené, aby se odeslaly jako dva bajty. Hodnoty 0xFB a 0xFC jsou použita jako Start a Stop bajty. Hodnota 0xFD je ale použitelné, takže hodnotu 0 je, jen pro komunikaci z FRDM do počítače, nahrazována hodnotou 0xFD.

6 Závěr

Tato práce se zabývala vytvořením jednotky pro detekci bouřek a blesků, která je energeticky nenáročná, aby mohla být napájena dlouhodobě z baterie. Z tohoto důvodu je jako základ použita deska FRDM a k ní je připojena deska s čipem AS3935. Ten je schopen detekovat blesky do vzdálenosti 40 km.

Kapitola 2 se zabývala vznikem bouřkových mraků, rozdělením druhů blesků i různými způsoby jejich detekce, od čidel zachytávajících elektromagnetické pole blesku umístěných na povrchu země po optická čidla, jež zachytávají náhlé zjasnění mraků a jsou umístěna na zemské orbitě. Zvláště se zaměřila na chování čipu AS3935. Kapitola 3 se zabývala samotným návrhem desky plošného spoje, složitostí dobrého návrhu, přizpůsobením se FRDM, výrobou a osazením prototypu detektoru blesku s použitím čipu AS3935. V kapitole 4 se nachází představení programů, pro vizualizaci a FRDM a popis jejich fungování. Kapitola 5 se zabývala testováním a postupným odstraňováním nedostatků programů i přidáváním nových funkcí pro jejich komplexnější fungování. Tento detektor je postaven na principu úzkopásmové přijímací techniky, která využívá intenzitu přijatého signálu, proto trpí tím, že přijímaná intenzita signálu se snižuje s cosinem úhlu svíraným mezi spojnicí zdroje vlny se středem antény a příčnou osou antény. Pokud blesk uhodí ve směru podélné osy antény pak jej čip AS3935 nezaregistruje nebo jeho vzdálenost vyhodnotí jako mnohem vyšší než ve skutečnosti je. Naopak v ose příčné detekuje blesky přesně.

Zkušenosti z této práce mně přivedly k myšlence, že je možné postavit dokonalejší detektor blesku obsahující dva integrované obvody AS3935, jejichž antény by byly vůči sobě kolmé a tím by se vzájemně doplňovaly.

Seznam použité literatury

- [1] AUSTRIAMICROSYSTEMS. *AS3935: Franklin Lightning Sensor*. © 1997-2012.
- [2] AUSTRIAMICROSYSTEMS. *AS3935: Franklin Lightning Sensor IC*. 2012.
- [3] *AS3935: Franklin Lightning Sensor Demo Board*. 2013. Dostupné z:
<https://www.ams.com/eng/Support/Demoboards/Lightning-Sensor/Franklin-Lightning-Sensor/AS3935-Demo-Kit>
- [4] Lightning&AtmosphericElectricityResearchatthe GHCC. [online]. [cit. 2014-12-07].
Dostupné z: <http://thunder.msfc.nasa.gov/primer/index.html>
- [5] *Ottova encyklopedie A-Ž*. Vyd. 1. Praha: Ottovo nakladatelství, 2004, 1144 s. ISBN 80-736-0014-5.
- [6] SONNADARA, D.U.J., C.M.EDIRISINGHE a I.M.K. FERNANDO. *Performance comparisonbetweenthemagneticdirectionfindingtechnique and timeofarrivaltechnique* [online]. 2001[cit. 2014-12-08]. Dostupné z:
http://www.academia.edu/2278582/Performance_comparison_between_the_magnetic_directi_on_finding_technique_and_time_of_arrival_technique
- [7] KAWASAKI, Zen. ReviewoftheLocationof VHF PulsesAssociatedwithLightningDischarge. *OneraAerospacelabJournal* [online]. 2012, roč. 2012, č. 5 [cit. 2014-12-08]. Dostupné z:
http://www.aerospacelab-journal.org/sites/www.aerospacelab-journal.org/files/AL05-03_0.pdf
- [8] OpticalTransientDetector. NASA. <Http://www.nasa.gov> [online]. 2008 [cit. 2014-12-08].
Dostupné z: <http://www.nasa.gov/centers/marshall/news/background/facts/otd.html>
- [9] *FRDM-KL25Z: SCH-27556 | PDF: SPF-27556*. rev E. 6501 William Cannon Drive West Austin, TX 78735-8598, 2013. Dostupné z:
http://cache.freescale.com/files/soft_dev_tools/hardware_tools/schematics/FRDM-KL25Z_SCH_REV_E.pdf?fp=1
- [10] Informace o programu EAGLE. *Eagle Online* [online]. © 1994-2014, 16.7.2014 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.eagle.cz/info.htm>
- [11] Freeware (Volně šiřitelná verze). *Eagle Online* [online]. © 1994-2014, 16.7.2014 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.eagle.cz/freeware.htm>
- [12] *MCU on Eclipse: Everything on Eclips, Microcontrollers and Software* [online]. February 2012, 18.4.2015 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z:
<http://mcuoneclipse.com/2014/11/01/illustrated-step-by-step-instructions-updating-the-freescale-freedom-board-firmware/>

- [13] CodeWarriorTutorialfor FRDM-KL25Z: USB CDC withtheFreescaleFreedomBoard. *Element14* [online]. © 2009-2015 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z:
<http://www.element14.com/community/docs/DOC-51089/1/codewarrior-tutorial-for-frdm-kl25z-usb-cdc-with-the-freescale-freedom-board>
- [14] MICROSOFT. *Visual Studio* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z:
<https://www.visualstudio.com/>
- [15] Jak vznikají kroupy. *Fyzmatik.píše* [online]. 2009 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z:
<http://fyzmatik.pise.cz/856-jak-vznikaji-kroupy.html>
- [16] Blesk. *Techmania - Edutorium - Exponáty* [online]. 2008 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z:
http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=456c656b74f8696e612061206d61676e657469736d7573h&key=424
- [17] FRDM-KL25Z: FreescaleFreedomDevelopmentPlatformforKinetis KL14, KL15, KL24, KL25 MCUs. *Freescale* [online]. © 2004-2015 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z:
http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=FRDM-KL25Z
- [18] *FRDM-KL25Z: Pinouts (Rev 1.0)*. 2012. Dostupné z:
http://cache.freescale.com/files/32bit/doc/user_guide/FRDMKL25ZUM.zip?fp=1
- [19] FREESCALE. *CodeWarriorDevelopmentToolSuites: FactSheet*. © 2010–2013. Dostupné z:
http://cache.freescale.com/files/soft_dev_tools/doc/fact_sheet/CODEWARRIORFS.pdf
- [20] Processor Expert Software – IntegratedwithCodeWarriorTools. *Freescale* [online]. © 2004-2015 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z:
http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=PROCESSOR-EXPERT

Seznam příloh

Příloha 1: Schéma zapojení prototypu I

Součástí bakalářské práce je CD, které obsahuje:

- **PDF verzi bakalářské práce**
- **Složku FRDM obsahující projekt v Codewarrior s programem pro FRDM**
- **Složku Vizualizace obsahující projekt ve Visual Studiu s programem pro reprezentaci registrů**
- **Složku HW obsahující EAGLE projekt s návrhem prototypu**

Příloha 1:Schéma zapojení prototypu

